

ANALISIS KINERJA KOTAK ISOTERMAL *Styrofoam*
PENGHANGAT MAKANAN SIAP SAJI BERBASIS *Positive*
Temperature Coefficient (PTC)



TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam pendidikan Strata 1 pada Program
Studi Teknik Mesin Universitas Tridinanti*

Oleh:

Tri Wira Utama

2202220115

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TRIDINANTI

2026

UNIVERSITAS TRIDINANTI
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN



TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA KOTAK ISOTERMAL *Styrofoam*
PENGHANGAT MAKANAN SIAP SAJI BERBASIS *Positive*
Temperature Coefficient (PTC)

Disusun Oleh:

Tri Wlra Utama

2202220115

Mengetahui, Diperiksa dan Disetujui, Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing I

Heriyanto Rusmarvadi, ST.PG.Dip MT.

Martin Luther King, ST. MT.

Pembimbing II

Ir. Togar PO. Sianipar, MT.

Disahkan Oleh:

Dekan FT Universitas Tridinanti



HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah Ini:

Nama : Tri Wira Utama

NPM : 2202220115

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul
"ANALISIS KINERJA KOTAK ISOTERMAL *Styrofoam* PENGHANGAT
MAKANAN SIAP SAJI BERBASIS *Positive Temperature Coefficient (PTC)*"
adalah benar merupakan karya saya sendiri. Hal-hal yang bukan karya saya, dalam
skripsi tersebut diberi tanda citasi dan ditunjukkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar dan
ditemukan pelanggaran atas karya skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi
akademik berupa pencabutan skripsi dan gelar yang saya peroleh dari skripsi
tersebut.

Palembang, 15 Oktober 2026

Yang membuat pernyataan:



Tri Wira Utama
NIM: 2202220115

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : Tri Wira Utama

NPM : 2202220115

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa Artikel dengan judul:

"ANALISIS KINERJA KOTAK ISOTERMAL *Styrofoam* PENGHANGAT MAKANAN SIAP SAJI BERBASIS *Positive Temperature Coefficient (PTC)*"

Merupakan hasil karya sendiri yang didampingi pembimbing bukan hasil penjiplakan/plagiat dan telah melewati proses *plagiarism checker* yang dilakukan pihak jurusan, apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, 15 Oktober 2026

Mahasiswa



Tri Wira Utama

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas Akademika Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik universitas Tridinanti, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Tri Wira Utama
NPM : 2202220115
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis Karya : Tugas Akhir/ Skripsi

Demi Pengembangan Ilmu pengetahuan untuk memberikan kepada pihak Universitas Tridinanti hak bebas Royalti Nonceklusif (*non eksklusive royalty free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

"ANALISIS KINERJA KOTAK ISOTERMAL *Styrofoam* PENGHANGAT MAKANAN SLAP SAJI BERBASIS *Positive Temperature Coefficient (PTC)*"

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan hak royalti eksklusif ini universitas tridinanti berhak menyimpan, mengalih mediakan, mengelola mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya dan tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Dibuat di Palembang
15 Oktober 2026
Yang menyatakan;



Tri Wira Utama



Digital Receipt

This receipt acknowledges that **Turnitin** received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: 1 1
Assignment title: IAIN PTK - 2
Submission title: TRI WIRA UTAMA 2202220115.docx
File name: TRI_WIRA_UTAMA_2202220115.docx
File size: 2.16M
Page count: 78
Word count: 12,083
Character count: 72,936
Submission date: 05-Oct-2026 09:42PM (UTC+0700)
Submission ID: 3051202273



1 1

TRI WIRA UTAMA 2202220115.docx

-  IAIN PTK - 2
-  Thesis
-  IAIN Pontianak

Document Details

Submission ID

trn:oid::1:3670002017

Submission Date

Oct 5, 2026, 9:41 PM GMT+7

Download Date

Oct 5, 2026, 9:43 PM GMT+7

File Name

TRI_WIRA_UTAMA_2202220115.docx

File Size

2.2 MB

78 Pages**12,083 Words****72,936 Characters**

9% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 9%  Internet sources
 - 2%  Publications
 - 3%  Submitted works (Student Papers)
-

Top Sources

9%	Internet sources
2%	Publications
3%	Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	id.123dok.com	<1%
2	Internet	www.univ-tridinanti.ac.id	<1%
3	Internet	repository.univ-tridinanti.ac.id	<1%
4	Internet	api.kvadroom.ru	<1%
5	Internet	repository.umsu.ac.id	<1%
6	Student papers	Universitas Islam Riau	<1%
7	Internet	pt.scribd.com	<1%
8	Internet	core.ac.uk	<1%
9	Internet	eprints2.undip.ac.id	<1%
10	Internet	123dok.com	<1%
11	Internet	amirizka.blogspot.com	<1%

➤ **MOTTO:**

“BERAT ITU WAJAR, ISTIRAHAT ITU BOLEH.”

“HARI INI MENYERAH ITU BOLEH, BESOK HARUS BANGKIT LAGI.”

**“KEGAGALAN HARI INI BUKAN BERARTI GAGAL DALAM
KEHIDUPAN.”**

**“KESUKSESAN TIDAK SELALU HARUS DIKEJAR, INGAT MANUSIA
MULAI DARI MERANGKAK BUKAN LANGSUNG BERLARI.”**

➤ **KUPERSEMBAHKAN UNTUK:**

- *Kedua orang tuaku, ibu Dan bapak yang
ku cinta*
- *Kakak dan adik yang saya sayangi*
- *Teman – teman seperjuangan angkatan 22*
- *Almamaterku*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan kesempatan kepada kami penulis untuk menyelesaikan proposal skripsi ini yang berjudul **“Analisis Kinerja Kotak Isotermal Styrofoam Penghangat Makanan siap saji dengan menggunakan PTC** “laporan ini merupakan persyaratan untuk memenuhi kurikulum pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti.

Dalam menyelesaikan laporan ini, saya penulis banyak menerima bimbingan dan bantuan dari semua pihak, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati kami sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Edizal AE, MS. Selaku Rektor Universitas Tridinanti.
2. Ibuk Dr. Ani Firda, ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tridinanti
3. Bapak Heriyanto Rusmaryadi, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti.
4. Bapak Martin Luther King, ST. MT. Selaku Sekretaris Prodi Dan Dosen Pembimbing 1 skripsi Program Studi Teknik Mesin Universitas Tridinanti.
5. Bapak Ir. Togar PO. Sianipar, MT. selaku dosen pembimbing 2 skripsi Program Studi Teknik Mesin Universitas Tridinanti.
6. Seluruh Staf Dosen pengajar di lingkungan Program Studi Teknik Mesin Universitas Tridinanti, yang telah memberikan ilmu yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi ini.
7. Kedua Orang tua saya yang dengan sepenuh hati telah memberi dukungan

dan baik secara moral dan materil.

8. Serta Teman-teman seperjuangan saya yang telah memberikan dukungan dan semangat hingga menyelesaikan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kata sempurna, yang tak lepas dari kesalahan diharapkan kritikan yang membangun terhadap penyampaian kata, Bahasa, isi serta makna. Akhir kata kami ucapkan banyak terimakasih. Semoga setiap ilmu yang disampaikan dapat bermanfaat bagi pembacanya.

PALEMBANG 15 Oktober 2026

Tri Wira utama

NPM: 2202220115

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	6
1.6 Definisi Operasional.....	7
1.7 Sistematika Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Tinjauan Elemen Pemanas PTC (Positive Temperature Coefficient)	10
2.2 Analisis Termal pada Sistem Kotak Tertutup (Integrasi Teori Perpindahan Panas).....	13
2.3 Karakteristik Material Kotak (Styrofoam & Aluminium Foil)	19
2.4 Tinjauan Keamanan Pangan dan Suhu Makanan Siap Saji.....	23
2.5 Penelitian Terdahulu.....	25
2.6 Kerangka berfikir	29
2.7 Hipotesis penelitian	31
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Metode Penelitian.....	33
3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian.....	34
3.3 Skema Instalasi dan Desain Kotak	35
3.4 Alat Dan Bahan	40
3.5 Variabel Penelitian	44
3.6 Prosedur Pembuatan dan Modifikasi Kotak	46

3.7 Parameter Pengukuran.....	48
3.8 Struktur pengujian	52
3.9 Metode analisis data	53
3.10 Tabel Rencana Pengambilan data.....	55
3.11 Diagram Penelitian	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Data Hasil Pengujian	57
4.2 Analisis Kehilangan Kalor	59
4.3 Analisis Efisiensi Energi Sistem Pemanas PTC.....	64
4.4 Analisis Stabilitas Suhu Makanan Siap Saji.....	69
4.5 Analisis Statistik.....	71
4.6 Pembahasan	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	83

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2. 1 Elemen pemanas ptc keramik 12 volt.....	12
GAMBAR 2. 2 Perpindahan panas konveksi.....	14
GAMBAR 2. 3 perpindahan panas radiasi.....	16
GAMBAR 2. 4 perpindahan panas konduksi.....	18
GAMBAR 2. 5 Kotak styrofoam. Sumber(sikumis.com).....	20
GAMBAR 2. 6 Diagram Kerangka Berfikir Penelitian	30
GAMBAR 3. 1 Skema Elektronik	35
GAMBAR 3. 2 desain kotak penghangat makanan siap saji menggunakan PTC ..	38
GAMBAR 3. 3 Skema Desain Potongan Melintang Kotak Penghangat makanan	39
GAMBAR 3. 4 multimeter digital	40
GAMBAR 3. 5 termometer digital.....	40
GAMBAR 3. 6 Timbangan digital.....	41
GAMBAR 3. 7 Elemen pemanas ptc	41
GAMBAR 3. 8 Styrofoam box 10L	42
GAMBAR 3. 9 Aluminium babel foil.....	42
GAMBAR 3. 10 Aki dryplus 12 volt/20a	43
GAMBAR 3. 11 relay hella 12 volt/30a	43
GAMBAR 3. 12 skring 15a	43
GAMBAR 3. 13 mini kipas 12volt dc	44
GAMBAR 3. 14 Diagram alir penelitian	56
GAMBAR 4. 1 Perbandingan Suhu Awal dan Suhu Akhir Makanan pada Setiap Pengujian di jalan relatif lancar	58
GAMBAR 4. 2 Perbandingan Suhu Awal dan Suhu Akhir Makanan pada Setiap Pengujian di jalan relatif macet	59
GAMBAR 4. 3 Grafik Perbandingan Kehilangan Kalor (Q_{loss}) terhadap Jarak Tempuh pada Kondisi Jalan Lancar dan Macet.....	62
GAMBAR 4. 4 Grafik Perbandingan Energi Input (W_{input}) terhadap Jarak Tempuh pada Kondisi Jalan Lancar dan Macet.....	65
GAMBAR 4. 5 Diagram Rata-rata Kehilangan Kalor Terhadap Jarak Tempuh di Jalan Relatif macet dan relatif lancar	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 spesifikasi elemen pemanas PTC 70°C	12
Tabel 2. 2 spesifikasi styrofoam 10L	20
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu	25
Tabel 2. 4 Novelty (kebaruan penelitian).....	27
Tabel 3. 1 Pelaksanaan Penelitian	34
Tabel 3. 2 Pengambilan Data Eksperimental Lapangan (Replikasi 3x3).....	55
Tabel 4. 1 data hasil pengujian di jalan relatif lancar dan relatif macet.....	57
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan $Q_{loss_dinding}$ untuk seluruh 9 pengujian jalan relatif lancar dan relatif macet.....	61
Tabel 4. 3 Konsumsi Energi Listrik per Pengujian pada jalan relatif lancar dan relatif macet.....	64
Tabel 4. 4 Efisiensi Energi (η) per Pengujian pada jalan relatif lancar dan relatif macet	66
Tabel 4. 5 Stabilitas Suhu Jalan relatif Lancar dan relatif macet.....	69
Tabel 4. 6 Ringkasan Hasil Pengujian Hipotesis Statistik	71

ABSTRAK

Layanan pesan-antar makanan daring berkembang pesat, namun menjaga suhu makanan siap saji tetap di atas 60°C selama distribusi dengan kendaraan roda dua masih menjadi tantangan karena berisiko memasuki zona bahaya mikrobiologis (4–60°C); penelitian terdahulu tentang pemanas *Positive Temperature Coefficient* (PTC) masih terbatas pada aplikasi statis dan belum menguji kondisi distribusi dinamis. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja sistem pemanas PTC pada kotak isothermal styrofoam berlapis aluminium foil dalam mempertahankan suhu makanan 60–70°C, menghitung kehilangan kalor (Q_{loss}) dan efisiensi energi, serta menguji pengaruh jarak tempuh terhadap kedua variabel tersebut. Metode yang digunakan adalah eksperimental kuantitatif dengan pendekatan *Research and Development*, melalui pengujian lapangan pada kendaraan roda dua di Kota Palembang dengan variasi jarak 2, 4, dan 6 km, masing-masing direplikasi tiga kali pada kondisi jalan lancar dan macet, dianalisis menggunakan hukum konduksi Fourier, uji-t satu sampel, dan korelasi Pearson. Hasil menunjukkan efisiensi energi rata-rata 82,49% (lancar) dan 80,79% (macet), signifikan melampaui target 50% ($p < 0,001$), dengan Q_{loss} meningkat linear seiring jarak tempuh ($r = 0,984 - 0,975$; $p < 0,001$). Keberhasilan mempertahankan suhu makanan di atas 60°C meningkat dari 33,3% menjadi 88,9% ketika suhu awal makanan dinaikkan dari 62,85°C menjadi 72,55°C. Disimpulkan bahwa sistem pemanas PTC efektif dan efisien untuk distribusi dinamis, namun keberhasilannya bergantung pada suhu awal makanan yang memadai sebelum pengiriman.

Kata kunci: elemen pemanas PTC, kotak isothermal *styrofoam*, kehilangan kalor (Q_{loss}), efisiensi energi, keamanan pangan makanan siap saji

ABSTRACT

Online food-delivery services are growing rapidly, yet keeping ready-to-eat food above 60°C during two-wheeled delivery remains challenging, as it risks entering the microbiological danger zone (4–60°C); prior studies on Positive Temperature Coefficient (PTC) heaters have been limited to static applications and have not evaluated dynamic distribution conditions. This study analyzes the performance of a PTC heating system integrated into an aluminum-foil-lined styrofoam isothermal box in maintaining food temperature at 60–70°C, calculates heat loss (Q_{loss}) and energy efficiency, and examines the effect of travel distance on both variables. A quantitative experimental method with an applied Research and Development approach was used, involving field trials on a motorbike in Palembang City across distances of 2, 4, and 6 km, each replicated three times under light and congested traffic, analyzed using Fourier's conduction law, one-sample t-test, and Pearson correlation. Results show average energy efficiency of 82.49% (light traffic) and 80.79% (congested traffic), significantly exceeding the 50% target ($p < 0.001$), with Q_{loss} increasing linearly with distance ($r = 0.984 - 0.975$; $p < 0.001$). Success in keeping food above 60°C rose from 33.3% to 88.9% when initial food temperature was raised from 62.85°C to 72.55°C. The PTC heating system is concluded to be effective and efficient for dynamic distribution, though its success depends heavily on an adequately high initial food temperature before delivery.

Keywords: PTC heating element, styrofoam isothermal box, heat loss (Q_{loss}), energy efficiency, ready-to-eat food safety

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Layanan pesan antar makanan daring di Indonesia tumbuh pesat, didorong oleh mobilitas masyarakat perkotaan yang kian tinggi serta meluasnya penggunaan platform seperti GoFood dan GrabFood. Dalam sistem pengantaran menjaga suhu makanan juga merupakan aspek krusial yang patut diperhatikan dalam menjaga tampilan hidangan yang disajikan. Penurunan suhu makanan bisa saja terjadi, salah satu penyebabnya adalah sistem pendistribusian makanan (Marfuah et al., 2022). Dalam praktiknya, tidak sedikit makanan yang dikirimkan hanya dengan pembungkus plastik biasa dan diangkut oleh pengemudi sepeda motor tanpa penanganan khusus yang memadai (Mulyanto et al., 2023). Hal ini menyebabkan suhu makanan sulit terjaga selama pengiriman.

Pengiriman makanan melalui platform OFD perlu menjadi perhatian karena penanganan yang tidak tepat dapat meningkatkan risiko terhadap keamanan pangan, khususnya akibat pertumbuhan bakteri maupun kontaminasi silang. Menjaga makanan panas pada temperatur lebih dari 60 °C adalah langkah penting untuk menghindari paparan terhadap rentang suhu yang dikenal sebagai "zona berbahaya" (4 °C - 60 °C), yang merupakan kondisi termal ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme, maka itu kemampuan kemasan untuk mempertahankan suhu tinggi selama periode yang cukup menjadi hal yang sangat penting (Komprda et al., 2025). Hal ini diperkuat oleh Alifa Carradya et al. (2026) yang menyatakan bahwa

menurut panduan Kementerian Kesehatan, suhu aman minimal untuk mengonsumsi makanan adalah 60°C guna menjaga kualitas dan kesegarannya.

Meskipun suhu minimum 60°C masih dapat dipertahankan pada saat hidangan panas disajikan langsung di tempat, pencapaian kondisi ini menjadi sangat sulit ketika makanan siap saji yang hangat harus ditransportasikan ke lokasi yang lebih jauh. Perjalanan yang memerlukan waktu tempuh lebih lama ini secara inheren meningkatkan risiko proliferasi *mikroorganisme* yang tidak diinginkan, termasuk *Bacillus cereus*, mengingat batas maksimum suhu pertumbuhan untuk *B. cereus* telah ditetapkan pada sekitar 48°C (Komprda et al., 2025).

Sebagai solusi, Penelitian terdahulu oleh Alifa Carradya et al. (2026) telah mencoba mengatasi hal ini dengan merancang sistem pemanas otomatis pada tudung saji menggunakan elemen PTC untuk menjaga suhu makanan tetap pada kisaran 40–70°C. Dari sisi rekayasa kemasan, penelitian Wang et al. (2020) memberikan bukti empiris yang kuat mengenai keterbatasan material isolasi termal konvensional untuk pengendalian suhu pada pengiriman jarak jauh. Material insulasi berbasis *polyethylene* (PE) dan *expanded polystyrene* (EPS) atau styrofoam yang selama ini mendominasi lebih dari 60% pangsa pasar kemasan insulasi dinilai tidak lagi memadai untuk mempertahankan kontrol suhu selama pengiriman tanpa penambahan ketebalan lapisan yang signifikan. Studi tersebut membuktikan bahwa penambahan lapisan aluminium foil pada permukaan dalam kemasan PE mampu meningkatkan performa insulasi hingga 46%. Sebagai solusi aktif-pasif, kotak styrofoam yang di dalamnya di lapiasi aluminium foil akan di kombinasikan dengan pemanas *Positive Temperature Coefficient* (PTC) yang menawarkan keuntungan

melalui mekanisme self-regulating yang secara otomatis menyesuaikan hambatan listrik berdasarkan perubahan suhu, sehingga mengurangi pemborosan energi dan mencegah overheating (Brekalo & Shepherd, 2022). Keunggulan efisiensi ini juga dibuktikan oleh Biko Iqbal Bahyanto et al. (2025) yang menunjukkan bahwa elemen PTC memiliki tingkat efisiensi energi sebesar $\pm 57\%$ lebih hemat dibandingkan pemanas konvensional.

Meskipun solusi-solusi tersebut telah diteliti, terdapat celah riset (research gap) yang nyata dari penelitian-penelitian tersebut. Penelitian Alifa Carradya et al. (2026) dan Biko Iqbal Bahyanto et al. (2025) masih terbatas pada penggunaan alat yang bersifat statis atau diam di tempat, seperti tudung saji rumah tangga dan inkubator telur. Kondisi distribusi menggunakan kendaraan roda dua memiliki tantangan lebih kompleks berupa paparan angin dan guncangan yang memengaruhi laju kehilangan kalor. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada evaluasi kinerja termal elemen PTC secara spesifik untuk kondisi distribusi portabel (dinamis) dengan variasi jarak 2 km, 4 km, dan 6 km guna memberikan solusi praktis pengantaran makanan yang tetap memenuhi standar kesehatan.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini difokuskan pada evaluasi efisiensi energi, stabilitas suhu, dan kehilangan panas pada sistem pemanas PTC yang dikombinasikan dengan bahan isolator styrofoam, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi konversi energi di bidang teknik mesin, khususnya dalam inovasi alat pemanas makanan yang hemat energi dan aman digunakan. Melalui penelitian ini, diharapkan pula diperoleh dasar ilmiah bagi pengembangan sistem pemanas

portabel yang efisien, berkelanjutan, serta mendukung upaya konservasi energi nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja sistem pemanas *Positive Temperature Coefficient* (PTC) dalam mempertahankan stabilitas suhu makanan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ di dalam kotak pada variasi jarak 2km, 4km, dan 6km?
2. Berapa besar kehilangan kalor (Q_{loss}) melalui dinding kotak dan efisiensi energi sistem PTC selama distribusi dinamis?
3. Bagaimana pengaruh jarak tempuh terhadap besaran kehilangan kalor dan efisiensi sistem?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus, terarah, dan tidak meluas dari ruang lingkup yang dimaksud, penulis membatasi penelitian pada hal-hal berikut:

1. Jenis makanan yang diuji dibatasi pada makanan siap saji berbasis nasi (*ready-to-eat rice*). Makanan siap saji dengan kondisi awal (suhu dan volume) yang diseragamkan.
2. Proses pengiriman makanan dilakukan menggunakan kendaraan bermotor roda dua di area perkotaan dengan variasi jarak tempuh 2 km, 4 km, dan 6 km.

3. Kajian ini difokuskan pada analisis performa termal dan efisiensi energi dari sistem pemanas *Positive Temperature Coefficient* (PTC) berdaya rendah yang diintegrasikan pada wadah kotak *styrofoam*.
4. Kecepatan kendaraan selama pengujian dijaga pada kisaran normal perkotaan yaitu 30 - 40 km/jam. Variabel ini tidak dikontrol secara kaku melainkan dicatat sebagai waktu tempuh aktual (durasi) untuk mencerminkan kondisi riil di jalan raya, sehingga fluktuasi waktu akibat kemacetan lalu lintas menjadi konsekuensi logis yang diperhitungkan langsung dalam evaluasi total kehilangan kalor.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kemampuan sistem pemanas PTC dalam mempertahankan suhu makanan siap saji agar tetap optimal stabilitas pada kisaran suhu 60°C - 70°C di dalam kotak pada variasi jarak 2km, 4km, dan 6km.
2. Menghitung dan mengevaluasi besarnya kehilangan kalor (Q_{loss}) melalui dinding styrofoam menggunakan pendekatan hukum Konduksi Fourier serta menghitung efisiensi energi (%) dari sistem pemanas PTC selama proses pengantaran dinamis berdasarkan variasi jarak tempuh (2 km, 4 km, dan 6 km).
3. Menganalisis korelasi dan pengaruh jarak tempuh pengantaran terhadap besarnya kehilangan kalor dinding kotak serta tingkat efisiensi energi sistem pemanas PTC.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang luas, baik bagi institusi maupun bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik mesin sebagai berikut:

1. Pengembangan Ilmu Pengetahuan (Novelty): Memberikan sumbangsih data empiris yang kuat mengenai karakteristik perpindahan panas dan kinerja termal elemen pemanas PTC pada kondisi kerja dinamis yang dipengaruhi langsung oleh paparan angin (*forced convection*) dan guncangan kendaraan roda dua. Data ini dapat menjadi referensi ilmiah penting bagi pengembangan sistem pemanas portabel di masa depan.
2. Bagi Institusi (Universitas Tridinanti): Menjadi salah satu referensi studi kasus untuk mata kuliah Perpindahan Panas, Termodinamika, dan Konversi Energi di Program Studi Teknik Mesin. Selain itu, hasil penelitian ini memperkaya khazanah literatur perpustakaan dan dapat dijadikan landasan pengembangan sistem termal di laboratorium.
3. Bagi Pelaku UMKM Kuliner: Memberikan solusi teknologi pemanas kemasan yang murah, hemat energi, dan andal untuk menjaga kualitas makanan hangat hingga ke tangan konsumen, sehingga meningkatkan kepuasan pelanggan.
4. Bagi Pengemudi Ojek Online dan Konsumen: Membantu meminimalkan risiko kontaminasi bakteri patogen berbahaya seperti *Bacillus cereus* pada makanan selama pengantaran jarak jauh, sehingga meningkatkan standar keselamatan dan keamanan pangan bagi masyarakat luas.

1.6 Definisi Operasional

Untuk menyamakan persepsi dan memudahkan pemahaman terhadap istilah teknis dalam penelitian ini, berikut adalah definisi operasional dari variabel-variabel kunci:

1. **Efisiensi Energi (η):** Merupakan rasio antara energi panas yang berhasil dimanfaatkan untuk mempertahankan suhu makanan (energi berguna) terhadap total energi listrik input yang dikonsumsi oleh elemen pemanas PTC, yang dinyatakan dalam satuan persentase (%).
2. **Kehilangan Kalor (*Heat Loss* / Q):** Besarnya energi panas yang terlepas dari dalam kotak isothermal ke lingkungan luar selama proses distribusi dinamis akibat adanya perbedaan suhu. Kehilangan kalor ini dihitung secara spesifik berdasarkan perpindahan panas konduksi melalui dinding styrofoam menggunakan Hukum Fourier:

$$Q_{loss_dinding} = \frac{(k \cdot A \cdot (T_{dalam} - T_{luar}))}{L} \times t$$

dan dinyatakan dalam satuan Joule (J).

3. **Stabilitas Suhu:** Kemampuan sistem (kombinasi kotak isothermal dan pemanas PTC) untuk mempertahankan suhu makanan siap saji agar tetap berada secara konsisten pada kisaran 60°C - 70°C guna menghindari pertumbuhan mikroorganisme pada "zona berbahaya" selama waktu tempuh distribusi, dinyatakan dalam derajat Celsius (°C).

4. **Distribusi Dinamis:** Kondisi pengantaran makanan menggunakan kendaraan roda dua yang melibatkan variabel eksternal seperti paparan angin dan guncangan selama perjalanan pada rute jarak tempuh 2 km, 4 km, dan 6 km.

1.7 Sistematika Penelitian

Secara garis besar, penulisan ini disampaikan dalam beberapa bab, dengan urutan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan penguraikan latar belakang mengenai tantangan suhu makanan pada layanan pesan antar daring, rumusan masalah terkait kinerja PTC, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, serta definisi operasional untuk istilah-istilah teknis kunci

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini Menyajikan landasan teori mengenai mekanisme *self-regulating* elemen pemanas PTC, prinsip perpindahan panas, karakteristik material isolasi styrofoam dan aluminium foil, serta tinjauan penelitian terdahulu yang mendasari perumusan hipotesis penelitian

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan prosedur eksperimental kuantitatif, tahapan perancangan kotak isothermal, penentuan variabel penelitian (jarak tempuh 2 km, 4 km, 6 km), Bab ini juga menjelaskan teknik pengumpulan data, instrumen yang digunakan,

serta metode analisis data untuk mengolah hasil penelitian agar dapat menjawab rumusan masalah.

BAB IV HASIL & PEMBAHASAN

Menyajikan data hasil pengujian lapangan, analisis stabilitas suhu makanan di atas 60°C, perhitungan efisiensi energi sistem PTC, serta evaluasi kuantitatif terhadap kehilangan kalor (*heat loss*) selama distribusi dinamis menggunakan kendaraan roda dua

BAB V KESIMPULAN

Berisi ringkasan temuan penelitian yang menjawab rumusan masalah serta saran atau rekomendasi untuk pengembangan teknologi penghangat portabel yang lebih efisien bagi pelaku usaha kuliner dan pengemudi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahyanto, B. I., Rasyidi, M. H., Zulfatman, & Afandi, R. (2025). *Smart and adaptive incubator dengan teknologi pemanas hemat energi*. Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 13(3), 690–696. <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6943>
- Carradya, A., & Devita, R. (2026). *Perancangan sistem pemanas makanan otomatis pada tudung saji berbasis mikrokontroler dengan control Blynk*. Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika, 2(4), 285–294.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Efendi, I. N., Mahbubah, I. N., & Kristanti, S. M. (2023). *Analisis konsep IPA dalam cara kerja kompor listrik*. Jurnal Pendidikan Sultan Agung, 3(2), 189–196.
- Filsafah, I. N., Wilarso, W., Saepudin, A., & Dharmanto, A. (2024). *Analisis perpindahan panas terhadap penurunan suhu air panas pada gelas dengan material yang berbeda*. Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik, 3(1), 5–9. <https://doi.org/10.22236/metalik.v3i1.14272>
- Komprda, T., Cwиковá, O., Kumbár, V., Franke, G., Kouřil, P., Patloka, O., & Zouharová, A. (2025). *Key factors influencing Bacillus cereus contamination in hot ready-to-eat meal delivery*. Foods, 14(15), 2605.

- Liu, C., Shen, L., Liu, H., Gong, X., Liu, C., Zheng, X., & Yang, C. (2023). *Improvement of temperature distribution uniformity of ready-to-eat rice during microwave reheating via optimizing packaging structure*. *Foods*, 12(15), 2938.
- Lubis, M. H., Nurbaiti, U., & Yulianto, A. (2021). *Pengaruh penggunaan styrofoam sebagai peredam panas pada atap terhadap suhu ruang*. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, 8(2), 91–95.
- Maulana, I., Setyobudi, R., Sadrina, A., Anggoro, R. B., Chalimah, S., Buana, E. S., Kartiko, M. A., & Alhalim, M. A. (2024). *Analysis of efficiency and heat transfer coefficient in the performance evaluation of shell and tube heat exchanger*. *Biomedical and Mechanical Engineering Journal (BIOMEJ)*, 4(1), 1–9.
- Marfuah, D., Noviyanti, R. D., & Khotimah, F. N. (2022). *Hubungan suhu makanan dan cara penyajian makanan dengan tingkat kepuasan makanan di Catering Betty Karanganyar*. *Jurnal Kesehatan dan Kedokteran*, 1(1), 1–8.
- Mulyanto, G., Kusumaningrum, H. D., & Wulandari, N. (2023). *Food safety knowledge and awareness among stakeholders of the online-food-delivery system in Depok City, Indonesia*. *Food Research*, 7(5), 29–41.
- Nurhayati, N., Safira, W., & Lahuddin, R. (2021). *Analisis perbedaan suhu dan resistansi pada termistor PTC dengan menggunakan media dingin dan media panas*. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, 7(1), 1–5.

- Prastianto, B. K. A., Rubiono, G., & Qiram, I. (2024). *Studi karakteristik porositas dan sifat termal pada komposit styrofoam. ARMATUR: Artikel Teknik Mesin dan Manufaktur*, 5(2), 78–85.
- Purwanningrum, D., Murti, W., Eddy, Y. S., & Syahputra, I. (2025). *Pengaruh resistansi dan diameter kawat nichrome pada performa pemanasan rompi berpemanas elektrik. Jurnal Sains dan Aplikasi Keilmuan Teknik Industri (SAKTI)*, 5(1), 15–30.
- Rolfe, C., & Daryaei, H. (2020). *Intrinsic and extrinsic factors affecting microbial growth in food systems*. In A. Demirci, H. Feng, & K. Krishnamurthy (Eds.), *Food safety engineering* (p. 15). Springer International Publishing.
- Shepherd, A., & Brekalo, K. (2022). *Developing positive thermal coefficient (PTC) heaters for solar electric cooking* [Senior project, California Polytechnic State University].
- Skawińska, E., & Zalewski, R. I. (2022). *Economic impact of temperature control during food transportation: A COVID-19 perspective. Foods*, 11(3), 467.
- Tan, Z., Mahmood, F., Tian, M., Li, Y., Zhang, Q., Ma, Z., & Li, B. (2026). *Review of flash joule heating for the synthesis of graphene and other functional carbon materials. Carbon Energy*, 8(1), e70119.
- Wang, K., Yang, L., & Kucharek, M. (2020). *Investigation of the effect of thermal insulation materials on packaging performance. Packaging Technology and Science*, 33(6), 227–236.

- Wang, Y., & Wang, P. (2022). *Application of Fourier's law in one-dimensional steady heat conduction calculation of cylinder wall*. Journal of Physics: Conference Series, 2381(1), 012002.
- Xu, W., Wang, W., Zhang, X., & Yu, P. (2024). (Ba_{0.55}Sr_{0.45})_{1-x}La_xTi_{1.01}O₃–Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃ positive temperature coefficient resistivity ceramics with low Curie temperature (~–15 °C). *Materials*, 17(8), 1812.
- Zhao, B. (2021). *Derivation of unifying formulae for convective heat transfer in compressible flow fields*. *Scientific Reports*, 11, 16762.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-95810-0>
- Fan, D., Li, C., Li, Y., Chen, W., Zhao, J., Hu, M., & Zhang, H. (2014). Experimental analysis and numerical modeling of microwave reheating of cylindrically shaped instant rice. *International Journal of Food Engineering*, 10(1), 59-67.
- World Health Organization. (2006). Five keys to safer food manual. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241594639>